

**Н. А. Баранникова¹, К. С. Фетисов¹, Ф. В. Водолазский¹, Е. А. Филяева²,
Я. И. Космацкий², А. Г. Илларионов^{1*}, Д. В. Гадеев¹**

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

²ОАО «РосНИТИ», г. Челябинск

**a.g.illarionov@urfu.ru*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛИМОРФНОГО ($\alpha+\beta$) $\rightarrow\beta$ -ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ Ti–3Al–2,5V МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ

Проведено определение характерной температуры на кривой нагрева сплава Ti–3Al–2,5V в ячейке дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), которая позволяет оценить температуру полиморфного ($\alpha+\beta$) $\rightarrow\beta$ -превращения ($T_{\text{пп}}$) с точностью сопоставимой с прямым определением $T_{\text{пп}}$ методом пробных закалок. Показано, что в качестве искомой температуры может быть использована температура минимума в области эндоэффекта ($\alpha+\beta$) $\rightarrow\beta$ -превращения на ДСК-кривой.

Ключевые слова: титановый сплав, температура полиморфного превращения, метод дифференциальной сканирующей калориметрии.

***N. A. Barannikova, K. S. Fetisov, F. V. Vodolazskiy, E. A. Filyaeva,
Ya. I. Kosmatskiy, A. G. Illarionov, D. V. Gadeev***

THE DEFINITION THE TEMPERATURE OF POLYMORPHIC ($\alpha+\beta$) $\rightarrow\beta$ -TRANSFORMATION IN TITANIUM ALLOY Ti–3Al–2.5V BY THE DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY

The specific temperature during the heating of the alloy Ti–3Al–2,5V in the cell of differential scanning calorimetry (DSC) is estimated. The temperature allows to evaluate the polymorphic ($\alpha+\beta$) $\rightarrow\beta$ -transformation temperature (T_{pt}) with an accuracy comparable with the direct determination of T_{pt} by metallography method. It is shown that the temperature of minimum of ($\alpha+\beta$) $\rightarrow\beta$ -transformation endothermal effect can be used as the specific temperature.

Keywords: titanium alloy, polymorphic transformation temperature, method of differential scanning calorimetry.

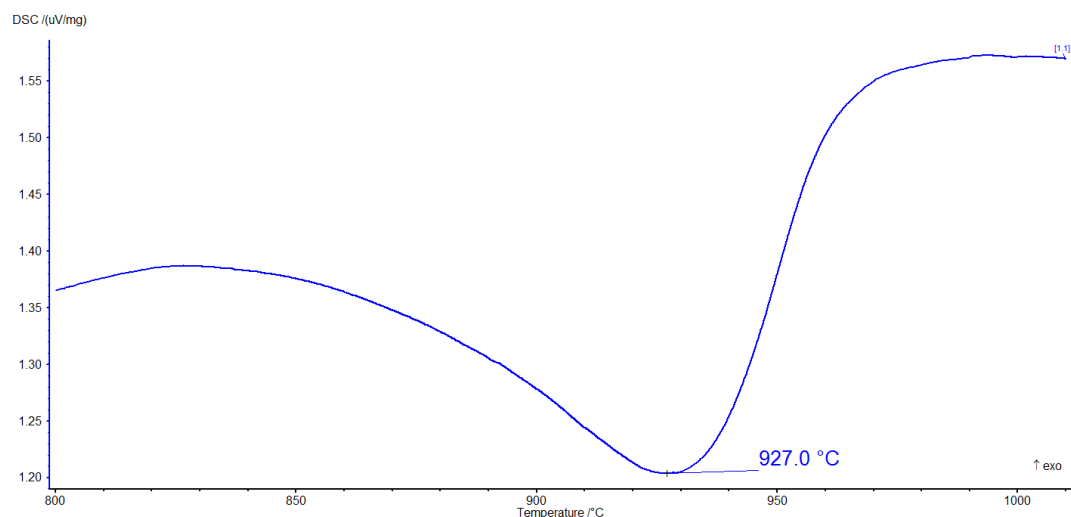
Сплав Ti–3Al–2,5V (Grade 9) широко используется для получения трубных полуфабрикатов и изделий для нефтедобывающей, химической, авиационной и других отраслей промышленности [1]. При разработке

технологии его обработки важно знать температуру полиморфного $(\alpha+\beta)\rightarrow\beta$ -превращения сплава. На практике $T_{\text{пп}}$ обычно определяют методом пробных закалок [2], который имеет ряд недостатков, связанных с большой продолжительностью процесса и трудоемкостью. В настоящее время развиваются более производительные физические методы определения $T_{\text{пп}}$ в титановых сплавах, в частности – дилатометрический [3], термоэлектрический [4], дифференциальной сканирующей калориметрии [5–6]. Последний использовался для наиболее широкого круга титановых сплавов, но нет данных по его применению для сплава Ti–3Al–2,5V. В связи с этим, в работе проведена оценка возможности использования метода ДСК для определения $T_{\text{пп}}$ в сплаве Ti–3Al–2,5V.

Материалом для исследования служил промышленный горячедеформированный полуфабрикат диаметром 195 мм производства ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» из сплава Ti–3Al–2,5V, следующего химического состава Ti–3,06%Al–2,67%V–0,15%Fe–0,101%O–0,004%N–0,007%C–0,0007%H (в мас. %). Определение $T_{\text{пп}}$ методом ДСК осуществляли на приборе синхронного термического анализа STA 449C Jupiter при нагреве в атмосфере аргона.

В соответствии с рекомендациями предыдущих исследований для повышения производительности процесса и получения эффектов значительной интенсивности нагрев в ячейке ДСК проводился с высокой скоростью 50 °/мин до температуры 1150 °С.

Кривая нагрева сплава, полученная методом ДСК, приведена на рисунке.



Кривая нагрева сплава Ti–3Al–2,5V, полученная методом ДСК, в области температур полиморфного $(\alpha+\beta)\rightarrow\beta$ -превращения

На полученной кривой нагрева в области полиморфного $(\alpha+\beta)\rightarrow\beta$ -превращения фиксируется типичный эндоэффект с температурой минимума 927 °С (см. рисунок). Температура минимума эндоэффекта лежит для сплава Ti–3Al–2,5V в области его $T_{\text{пп}}$ (920–950 °С) [1]. Для того чтобы определить можно ли данную температуру использовать в качестве

характеристической на кривой ДСК, связанной с $T_{\text{пп}}$ сплава, необходимо сравнить ее значение с $T_{\text{пп}}$, полученной прямым методом пробных закалок. $T_{\text{пп}}$ исследуемого сплава методом пробных закалок была определена в работе [7] и составила 928 °С.

Сопоставление значения $T_{\text{пп}}$, определенного методом пробных закалок (928 °С), и температуры минимума на кривой ДСК в области эндоэффекта, характеризующего полиморфное $(\alpha+\beta)\rightarrow\beta$ -превращение (927 °С) показывает, что разница между ними не превышает 1 °С, то есть находится в пределах допустимой на практике погрешности (± 2 °С).

Таким образом, установлено, что метод ДСК может быть использован для определения $T_{\text{пп}}$ в исследованном сплаве Ti–3Al–2,5V с необходимой для практики точностью, если в качестве $T_{\text{пп}}$ на ДСК-кривой нагрева принимать температуру минимума в области эндоэффекта, связанного с $(\alpha+\beta)\rightarrow\beta$ -превращением.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации, постановление № 211, контракт № 02.А03.21.0006, в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № 11.1465.2014/К

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин А. А., Колачев Б. А., Полькин И. С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: справочник. М. : ВИС-МАТИ, 2009. 520 с.
2. Полуфабрикаты из титановых сплавов / К. В. Александров, Н. Ф. Аношкин, А. А. Бочвар [и др.]. М. : Металлургия, 1979. 512 с.
3. Evolution of alpha-beta transformation in Ti–3Al–2,5V alloy. Microstructural changes and properties obtained / P. Tarin [et al.] // Ti 2011 – Proceedings of the 12th World Conference on Titanium, 2012. V. 1. P.481–484.
4. Илларионов И. А., Илларионова С. М. Использование методов термического анализа для определения температуры полиморфного превращения в высоколегированном сплаве титана на основе β -фазы // В трудах XVI Международной Уральской Школы - семинара металловедов – молодых ученых. Екатеринбург, УрФУ. 2015. С. 263–265.
5. Использование метода термического анализа для определения температуры полного полиморфного превращения двухфазного титанового сплава / Д. В. Гадеев [и др.] // Титан. 2010. № 1. С. 24–30.
6. Гадеев Д. В. Исследования фазовых превращений методами структурного и термического анализа в двухфазных сплавах на основе титана. Автореферат диссертации на соискание степени канд. техн. наук. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 24 с.
7. Экспериментальное определение температурных параметров для оценки возможности изготовления горячепрессованных труб из сплава Ti–3Al–2,5V/ А. Г. Илларионов [и др.] // Metallurg. 2016. № 9. С. 83–87.